



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO RGB ATRAVÉS DE
IMAGENS OBTIDAS POR VANT EM LAJEDO NO
SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Matheus Barbosa Soares

João Pessoa – PB
Maio de 2025

MATHEUS BARBOSA SOARES

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO RGB ATRAVÉS DE
IMAGENS OBTIDAS POR VANT EM LAJEDO NO SEMIÁRIDO
PARAIBANO**

Artigo apresentado ao Curso de Geografia da
Universidade Federal da Paraíba, para
obtenção do título de Bacharel em
Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Coorientador: Dr. Utaiguara da Nóbrega Borges

João Pessoa – PB
Maio de 2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S676a Soares, Matheus Barbosa.

Análise de índices de vegetação RGB através de imagens obtidas por VANT em lajedo no semiárido paraibano / Matheus Barbosa Soares. - João Pessoa, 2025.

26 p. : il.

Orientação: Bartolomeu Israel de Souza.

Coorientação: Utaiguara da Nóbrega Borges.

TCC (Curso de Bacharelado em Geografia) - TCC na modalidade Artigo Científico - UFPB/CCEN.

1. Ortomosaico. 2. Índices de vegetação RGB. 3. VANTs. 4. Geografia. I. Souza, Bartolomeu Israel de Souza. II. Borges, Utaiguara da Nóbrega Borges. III. Título.

UFPB/CCEN

CDU 91(043.2)

ANEXO 4



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE GEOGRAFIA

Resolução N.01/2021/CCBLG/CCEN/UFPB

PARECER DO TCC

Tendo em vista que o aluno (a)

MATHEUS BARBOZA SOARES

(X) cumpriu () não cumpriu os itens da avaliação do TCC previstos no artigo 25º da Resolução N. 01/2021/CCBLG/CCEN/UFPB somos de parecer (X) favorável ou () desfavorável à aprovação do TCC intitulado:

Análise de índices de vegetação RGB através de imagens obtidas por UAV em locais no semicírculo paratropical.

Nota final obtida: 8,5

João Pessoa, 22 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

Bartolomeu Manoel de Souza

Professor Orientador

Wagner da Silva Borges

Professor Co-Orientador (Caso exista)

Victor Hugo Rabelo Coelho

Membro Interno Obrigatório (Professor vinculado ao Curso)

Eduardo Rodrigues Viana de Lima

Membro Interno ou Externo

ANÁLISE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO RGB ATRAVÉS DE IMAGENS OBTIDAS POR VANT EM LAJEDO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Resumo: O presente estudo analisa a aplicação de índices de vegetação RGB derivados de imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) na região do Lajedo Salambaia, localizado entre os municípios de Cabaceiras e Boa Vista, no semiárido paraibano. Essa formação geomorfológica, inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, apresenta potencial significativo para exportação de água, que é armazenada em seu entorno, fato que é muito importante em uma região caracterizada por déficit hídrico. A metodologia empregada consistiu na aquisição de imagens aéreas utilizando um drone DJI Mini 2 equipado com câmera de 12MP, seguida da elaboração de ortomosaico de alta resolução e posterior processamento para geração de quatro índices de vegetação baseados nas bandas do espectro visível: Green Leaf Index (GLI), Triangular Greenness Index (TGI), Modified Green Red Vegetation Index (MGVRI) e Excess Green Index (ExG). A análise comparativa desses índices permitiu avaliar o vigor vegetativo, biomassa e atividade fotossintética da cobertura vegetal circundante ao lajedo, fornecendo subsídios para a compreensão da dinâmica ambiental local. Os resultados obtidos demonstram a eficácia da utilização de VANTs como alternativa economicamente viável para o monitoramento ambiental de áreas de menor extensão, superando as limitações de resolução espacial das imagens de satélite convencionais.

Palavras-chaves: Ortomosaico; Índices de Vegetação RGB; VANTs; Semiárido, Drone.

ANALYSIS OF RGB VEGETATION INDEXES THROUGH IMAGES OBTAINED BY UAV IN LAJEDO AT THE SEMI-ARID REGION OF PARAÍBA

Abstract: This study analyzes the application of RGB vegetation indices derived from images obtained by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in the Lajedo Salambaia region, located between the municipalities of Cabaceiras and Boa Vista, in the semiarid region of Paraíba. This geomorphological formation, located within the Cariri Environmental Protection Area (APA), has significant potential for water export, which is stored in its surroundings, a crucial factor in a region characterized by water deficit. The methodology employed consisted of acquiring aerial images using a DJI Mini 2 drone equipped with a 12MP camera, followed by the creation of a high-resolution orthomosaic and subsequent processing to generate four vegetation indices based on the visible spectrum bands: Green Leaf Index (GLI), Triangular Greenness Index (TGI), Modified Green Red Vegetation Index (MGVRI), and Excess Green Index (ExG). Comparative analysis of these indices allowed us to assess the vegetative vigor, biomass, and photosynthetic activity of the vegetation surrounding the lajedo, providing insights into local environmental dynamics. The results demonstrate the effectiveness of using UAVs as an economically viable alternative for environmental monitoring of smaller areas, overcoming the spatial resolution limitations of conventional satellite imagery.

Keywords: Orthomosaic; RGB Vegetation Indices; UAVs; Semi-arid; Drone.

1. INTRODUÇÃO

Em áreas áridas e semiáridas, a administração da água é particularmente urgente e essencial, dado que há poucas reservas naturais disponíveis e as chuvas e o escoamento superficial ocorrem de maneira irregular ao longo do tempo e do espaço. O escoamento e o armazenamento superficial de água têm como uma de suas características a elevada perda de volume por evaporação, especialmente em áreas áridas e semiáridas como as que ocorrem no interior da região Nordeste do Brasil. Por outro lado, os reservatórios subterrâneos, têm como uma de suas características marcantes uma taxa de evaporação muito pequena, o que faz deles fontes ideais de água nessas regiões, apesar da capacidade de armazenamento limitada devido às características (hidro)geológicas da região.

Na microrregião do Cariri Oriental/PB ocorrem diversas unidades de rochas ígneas e feições, que representam os inselbergs, a exemplo do Plutão Bravo. Essas feições têm forma anticlinal que afloram na superfície, conhecidos popularmente como lajedos, e que agem como fontes de exportação de água das chuvas e de sedimentos para as áreas em seu entorno, como é o caso do Lajedo Salambaia, que fica localizado entre os municípios de Cabaceiras e Boa Vista.

O Lajedo Salambaia está inserido no perímetro da Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, criada pelo Decreto Estadual nº 25.083, de 08 de junho de 2004. O fato de estar dentro da área da APA, tem sua proteção amparada pela legislação, que também estimula a gestão territorial seguindo princípios do desenvolvimento sustentável. Numa APA, a ocupação do território com atividades econômicas é permitida, desde que sejam compatíveis com algumas limitações impostas pelo plano de manejo.

Esse afloramento rochoso tem uma extensão de aproximadamente 900.000 m², com 2.700 m de comprimento, 620 m na sua largura máxima, 250 m em sua largura mínima, e altura média de 40 m em relação à superfície aplainada do seu entorno (LAGES et al., 2018). Possui uma forma em arco com uma estrutura tipo Dorso de Baleia (Whale Back). Dado o seu posicionamento mais central em relação ao stock do Plutão Bravo, a superfície do lajedo é levemente rugosa e os matacões arredondados são diminutos, exemplificando a importância das fraturas no estágio de desenvolvimento dos campos de matacões, pois, nas bordas do corpo ígneo as mesmas são mais penetrativas, propiciando o molde de vários blocos como pode ser visto nos lajedos do Pai Mateus e Bravo. No topo relativamente plano de boa parte do Lajedo da Salambaia ocorrem inúmeras bacias de dissolução (gnamas, cacimbas ou painéis) e caneluras providas do intemperismo

químico e da erosão pluvial (LAGES ET AL., 2024).

Embora seja conhecido o potencial de exportação de água desses afloramentos rochosos, que se armazena nas áreas de entorno, pouco se tem realizado no sentido de analisar a capacidade de retenção da água. A capacidade de armazenamento de água subterrânea no entorno de um lajedo pode ser condicionada pela presença de feições naturais sinformes preenchidas por sedimentos.

A microrregião do Cariri Oriental Paraibano, assim como outras microrregiões do estado da Paraíba, apresenta déficit hídrico importante, que precisa ser equacionado para uma ocupação sustentável do território. O Lajedo Salambaia é uma feição geomorfológica presente naquela microrregião com um potencial hídrico associado que ainda não foi suficientemente avaliado. O estudo do potencial hídrico dos sedimentos do entorno do Lajedo Salambaia permitirá o planejamento de ações sustentáveis para a ocupação do território com a adoção de atividades econômicas adequadas e consequente melhoria da qualidade de vida da população local.

A visualização de áreas de menor extensão por meio de imagens de satélite, mesmo com alta resolução espacial, não é a melhor solução. Para esses casos, a melhor alternativa é o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para a aquisição de imagens, que podem ser utilizadas no monitoramento e análise de pequenas e médias áreas tem se expandido consideravelmente. A principal vantagem desse tipo de equipamento está no seu baixo custo operacional, quando comparado a outras tecnologias convencionais, além de sua capacidade de fornecer imagens com resolução espacial superior àquelas obtidas por satélites ou aeronaves tripuladas. Os VANTs permitem a coleta de dados em momentos específicos definidos pelo operador, utilizando diversos tipos de sensores, que podem incluir desde sensores RGB até aqueles que capturam outras bandas do espectro eletromagnético, como o infravermelho próximo e distante (HUNT; DAUGHTRY, 2018; JANNOURA et al., 2015; ZHANG; WALTERS; KOVACS, 2014). Porém, uma grande limitação para o uso dos drones é a "baixa" frequência de obtenção dos dados, dificultando a obtenção de imagens para uma análise temporal de determinado espaço.

Para avaliar o estado da vegetação em determinada área, é possível utilizar diferentes índices de vegetação a partir das imagens adquiridas por sensores adequados a esses cálculos e fórmulas. Esses índices fornecem dados relevantes sobre as condições vegetativas e o desenvolvimento da vegetação. No contexto dos VANTs, os modelos mais

acessíveis geralmente operam nas bandas do espectro visível (RGB), enquanto sensores multiespectrais têm a capacidade de captar múltiplos comprimentos de onda, porém possuem valores econômicos mais altos. Com o intuito de reduzir os investimentos necessários na aplicação dessas técnicas, diversos índices de vegetação que utilizam bandas do espectro visível têm sido aprimorados.

Uma fotografia convencional do tipo RGB registra imagens compostas por três bandas espectrais (vermelho, verde e azul), obtidas a partir de um único sensor monocromático recoberto por um filtro de cores, geralmente do tipo matriz de Bayer. Esse filtro segmenta o espectro da radiação incidente, de modo que determinados pixels captam apenas comprimentos de onda na faixa do vermelho, outros na faixa do verde e outros no azul. Posteriormente, um processo denominado “demosaicagem” reconstrói a imagem colorida ao interpolar e organizar os valores captados, resultando em três camadas correspondentes às bandas espectrais visíveis. Assim, embora o usuário receba uma única fotografia, o arquivo digital gerado contém internamente três canais distintos, que podem ser tratados individualmente em softwares de processamento de imagens, como o Agisoft Metashape, o qual apenas ortorretifica e organiza essas bandas no produto final, sem criar novas informações espectrais.

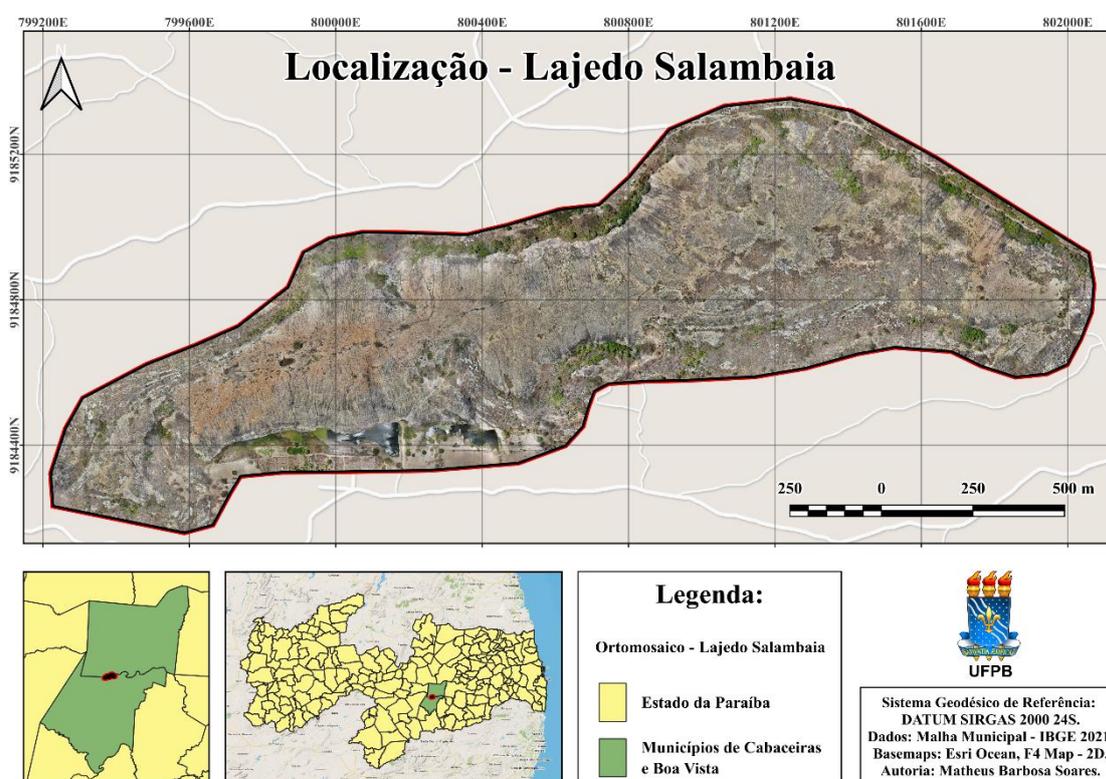
Diante do exposto, no presente trabalho serão analisados quatro índices de vegetação que abrangem as bandas do visível, sendo esses: Green Leaf Index (GLI), Modified Green Red Vegetation Index (MGVRI), Triangular Greenness Index (TGI) e Excess Green Index (ExG). A análise terá como objetivo comparar esses índices entre si e avaliar sua confiabilidade, comparando os resultados com a interpretação visual de uma composição RGB.

Além de favorecer a redução de custos em comparação aos métodos tradicionais de coleta de dados, a aquisição de dados a partir de VANTs apresenta outros tipos de benefícios, como a aquisição a baixas altitudes, o que permite a criação de dados com melhor resolução espacial. Proporciona também o imageamento em áreas e datas determinadas e com a utilização de diferentes tipos de sensores com variadas configurações, incluindo os que operam exclusivamente com as bandas do visível (RGB) (HUNT; DAUGHTRY, 2018; JANNOURA et al., 2015; ZHANG; WALTERS; KOVACS, 2014).

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Região Imediata do município de Campina Grande, Mesorregião da Borborema e Microrregião do Cariri Oriental do estado da Paraíba, dentro dos limites dos municípios de Cabaceiras e Boa Vista. A área de estudo está distante aproximadamente 12 km do centro da cidade de Boa Vista e 14 km de Cabaceiras. Partindo da cidade de Campina Grande, o acesso se dá via PB - 138 no sentido oeste, rumando para a BR - 412 na cidade de Boa Vista e, logo após, em direção sul a partir da PB - 160 por mais 12 km aproximadamente (Fig. 1).

Localização do Lajedo Salambaia:



Mapa 1 – Mapa de localização da área de estudo. - Fonte: Ortomosaico Próprio, Basemaps: Esri Ocean, F4 Map – 2D (2024).

3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi a criação, comparação e análises de índices de vegetação RGBs obtidos de imagens geradas por VANTs da área do Lajedo Salambaia, através da técnica da aerofotogrametria e formação de Ortomosaico, utilizando dados de sensoriamento remoto.

3.1 Objetivos Específicos

- ✓ Apresentar um roteiro da aquisição e processamento dos dados obtidos por drone;
- ✓ Criar Ortomosaico RGB de alta resolução do Lajedo Salambaia e sua área circundante;
- ✓ Gerar e analisar os índices de vegetação gerados a partir do ortomosaico RGB, utilizando quatro técnicas diferentes;
- ✓ Avaliar os produtos gerados pelo processamento dos dados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção das imagens aéreas, empregou-se um veículo aéreo não tripulado (VANT) de configuração quadricóptero, equipado com câmera digital de alta resolução. O processamento subsequente dos dados e a geração dos produtos cartográficos (índices de vegetação) foram realizados com três softwares específicos: Google Earth Pro, QgroundControl e Litchi. A área de estudo, o Lajedo de Salambaia, está inserida no contexto geográfico entre os municípios de Cabaceiras e Boa Vista, no estado da Paraíba. As atividades de captura de dados foram executadas nos dias 5 e 11 de outubro de 2024, período de início da estação seca da região, sob condições de campo favoráveis, com ausência de interferências humanas e obstruções na área. Ademais, foram criadas por meio do software QGIS os índices de vegetação para a melhor análise da vegetação circundante do Lajedo Salambaia.

4.1 Drone e Câmera

- Drone DJI Mini 2

O VANT utilizado foi o DJI Mini 2. Trata-se de um equipamento compacto e leve que pesa menos de 249 gramas, tornando-o fácil de transportar. Ele está equipado com uma câmera de 12MP, além de zoom digital de 4x para obter fotos mais próximas. O drone tem um tempo máximo de voo de 31 minutos e pode voar até 10km de distância do seu rádio controlador, além disso, consegue voar com bom desempenho em ventos de até 38km/h (DJI MINI 2, 2020). Logo, seu tamanho compacto, juntamente com o seu longo tempo de voo, o torna uma ótima opção para trabalhos de aerofotogrametria e geração de mosaicos do tipo RGB. No estudo, foram utilizadas 6 baterias, onde elas foram utilizadas por inteiro nos dois dias de aquisição dos dados e imagens.

- Parâmetros da Câmera

- Sensor de imagens: CMOS de 1/2,3", Píxeis efetivos: 12 MP
- Alcance controlável da Inclinação: -90° a 0°
- Dimensões máx. da imagem: 4000×3000

4.2 Aerofotogrametria

A aerofotogrametria consiste em uma técnica de mapeamento que emprega fotografias aéreas para a coleta de informações detalhadas sobre a superfície terrestre. Com os avanços tecnológicos, particularmente a disseminação e acessibilidade dos veículos aéreos não tripulados (VANTs), essa técnica tornou-se mais eficiente e amplamente aplicável.

Os VANTs são equipados com câmeras de alta precisão, capazes de realizar voos programados sobre áreas de interesse, capturando imagens em múltiplos ângulos e perspectivas. Essas imagens são subsequentemente processadas por meio de algoritmos especializados, permitindo a geração de modelos tridimensionais (3D) e mapas georreferenciados de alta resolução. A aerofotogrametria destaca-se por possibilitar a obtenção de medições precisas e dados geográficos sem a necessidade de contato físico com o terreno, o que a torna particularmente vantajosa para o levantamento de informações em áreas de acesso difícil ou de risco elevado. Essa característica amplia sua aplicabilidade em diversos contextos, desde o planejamento urbano até o monitoramento ambiental (COELHO E BRITO, 2007).

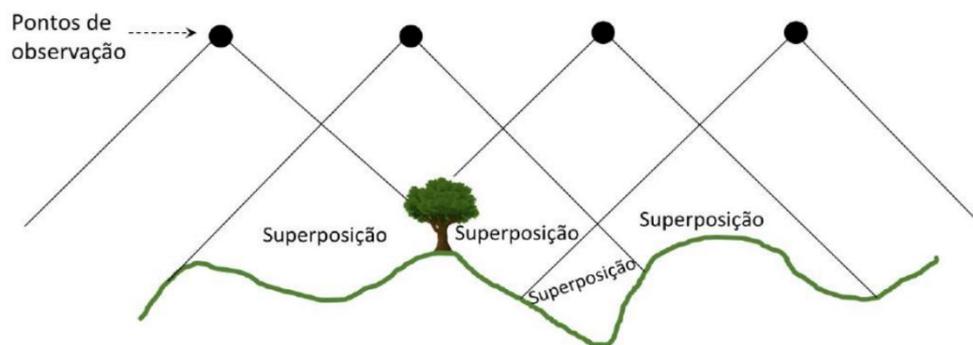


Figura 1 – Princípio da sobreposição de imagens aéreas para análise fotogramétrica. Fonte: extraído de Beretta et al, (2018).

4.3 Planejamento e Ferramentas Utilizadas no Planejamento de Voo

O mapeamento em alta resolução com VANTs representa um avanço significativo nos estudos geográficos e ambientais, proporcionando dados precisos e detalhados para diversos tipos de aplicações. No contexto de uma análise de índices de vegetação e da identificação de áreas de maior vigor vegetativo em torno de Inselbergs (lajedos), essa tecnologia se mostra indispensável. Através de imagens aéreas de alta resolução espacial, é possível gerar ortomosaicos extremamente precisos, permitindo a identificação das áreas de maior vigor vegetativo, com alta precisão. Além disso, a frequência com que os voos podem ser realizados permite monitorar dinâmicas temporais, como a evolução anual de biomas como a caatinga e a variação do nível d'água em corpos hídricos. Essa informação é crucial para entender a variação foliar da vegetação e os processos hidrológicos que atuam na região, auxiliando na identificação de áreas mais suscetíveis à acumulação de água no solo e à distribuição da vegetação. Em suma, o mapeamento com VANTs é uma ferramenta poderosa para a compreensão da dinâmica ambiental de inselbergs (lajedos) e entorno, subsidiando a tomada de decisões em relação à gestão ambiental dessas áreas e o planejamento territorial de áreas preservadas.

O processo inicia-se com a delimitação espacial da área de interesse e a configuração dos critérios necessários operacionais para o voo com VANTs, etapas fundamentais para garantir a qualidade dos dados aerofotogramétricos. Sistemas de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), como os drones, são equipados em sua maioria com a navegação do tipo autônoma, dispondo de estações de controle em solo com software dedicado para esse planejamento. Embora existam variações entre plataformas e soluções de software, a metodologia básica mantém-se de forma quase padrão. Em operações autônomas, a definição da área de interesse é realizada sobre uma base cartográfica previamente georreferenciada, assegurando precisão geográfica para subseqüentes etapas de processamento.

É importante dizer que o software Google Earth Pro é uma ferramenta para profissionais que necessitam de análises geográficas detalhadas e integração com dados espaciais georreferenciados, é uma versão avançada do conhecido Google Earth versão web, projetado para uso profissional e corporativo, sendo amplamente utilizado em áreas como planejamento urbano, análise e gestão ambiental, análise geográfica e pesquisa acadêmica (GOOGLE EARTH, 2023). Nele, é possível a importação de dados GIS (Sistemas de Informação Geográfica) em formatos como KML, KMZ e Shapefile. Ainda,

permite a integração com dispositivos GPS para visualização e análise de rotas e waypoints. Dessa forma, para a delimitação da área de interesse foi utilizado o software Google Earth Pro, para a delimitação da área de interesse do estudo:

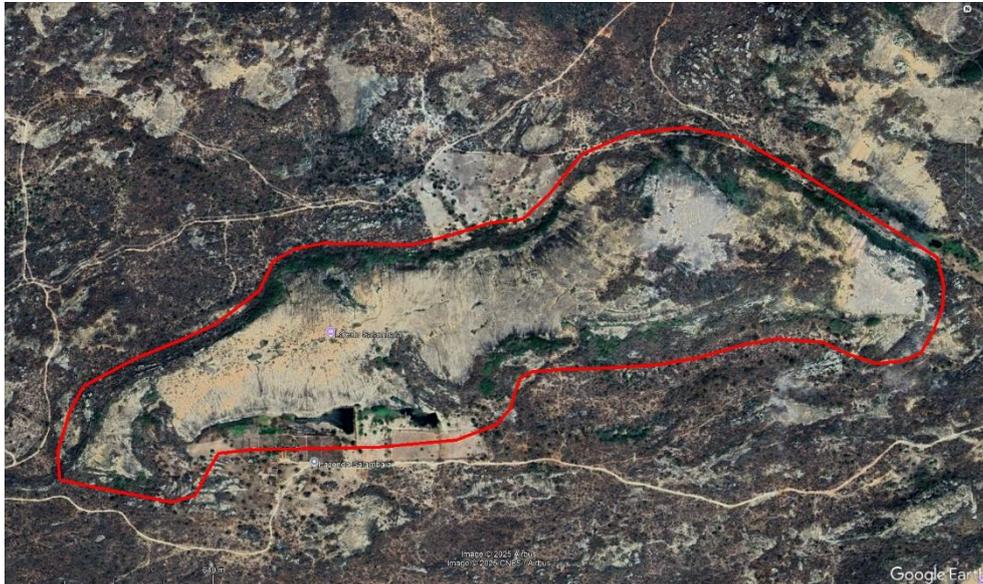


Figura 2 Área de Interesse Delimitada - Fonte: Google Earth Pro.

Logo após, foram criadas cinco subdivisões da área total de acordo com as capacidades das baterias disponíveis do drone DJI mini 2, que duravam cerca de 30 minutos cada, com uma margem de erro de 4 minutos extras, cada subdivisão ficou com cerca de 26 minutos de voo.

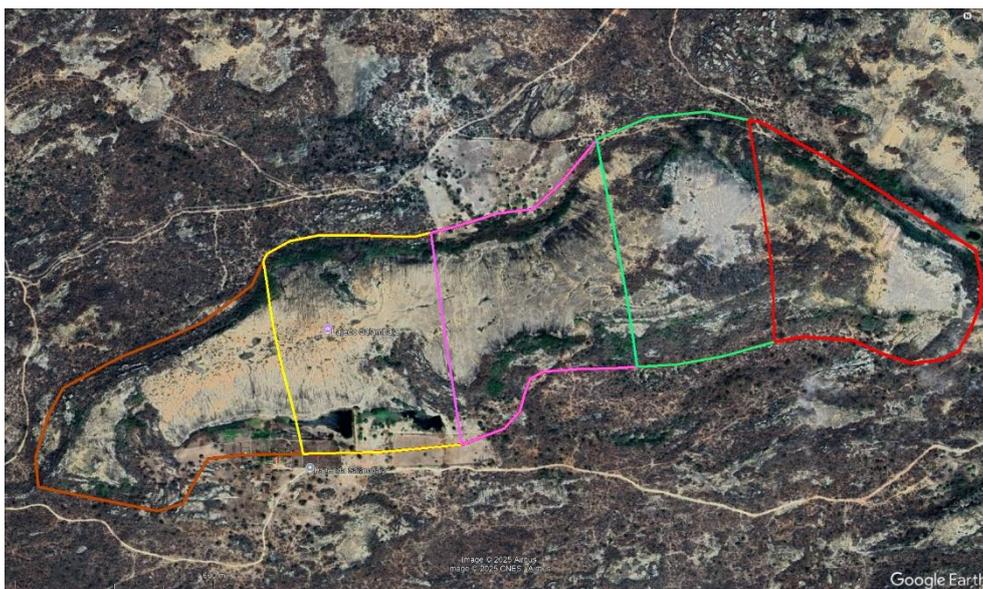


Figura 3 Subdivisões Escolhidas para o Lajedo - Fonte: Google Earth Pro.

Após a delimitação da Área de Interesse, a etapa seguinte compreende a definição dos parâmetros de voo, elementos críticos que determinam a qualidade geométrica e radiométrica dos dados obtidos. O software de planejamento utiliza esses parâmetros para calcular automaticamente o padrão de varredura ou em inglês, flight lines, e garantir uma cobertura sistemática de toda a área de interesse. Dois fatores principais devem ser considerados: a altura de voo ou seu equivalente em HAG (Height Above The Ground) e as taxas de sobreposição entre imagens consecutivas, tanto na direção longitudinal quanto transversal.

A relação entre altitude de voo e resolução espacial é inversamente proporcional, por isso, voos em maiores altitudes resultam em valores de pixel de maior tamanho, ou seja, imagens obtidas em maior altitude tem resolução inferior, se comparando com imagens obtidas em menor. No que concerne às sobreposições, recomenda-se valores entre 60% e 80% para a maioria das aplicações. Particularmente na geração de ortomosaicos de alta qualidade (resolução espacial), a combinação de baixas altitudes com sobreposições superiores a 80% surge como essencial em estudos sobre fotogrametria com VANTs. Essa configuração otimizada garante a redundância necessária para os algoritmos de correspondência de pontos e a posterior reconstrução geométrica.

Dessa forma, se faz necessário falar também do QGroundControl, que é um software de código aberto, que é projetado para poder operar e gerenciar veículos aéreos não tripulados (VANTs), como os drones. É bastante utilizado em aplicações profissionais e acadêmicas devido à sua flexibilidade e capacidade de integração com diferentes tipos de drones, nele são feitos diferentes tipos de trabalhos, como mapeamento aéreo, agricultura de precisão, inspeção de infraestruturas e pesquisa científica (QGROUND CONTROL, 2024).

Por isso, o software QGroundControl foi utilizado no presente estudo, onde a principal funcionalidade utilizada foi a criação das rotas de voo, visto que foi nele que foram definidos os waypoints necessários, as ações específicas e os parâmetros de voo. Além disso, também foi feita uma integração e alinhamento com o tipo de sensor do DJI Mini 2. Os waypoints e a paralelização das linhas de voo foram definidos, aumentando a sobreposição das imagens, diminuindo a chance de erro e falta de dados durante o processamento posterior.



Figura 4: Linhas de Voo - Fonte: Google Earth Pro.

Também foi utilizado o software Litchi, que é um programa especializado no planejamento e automação de missões de voo para drones, amplamente utilizado em aplicações que demandam precisão geográfica, como mapeamento aéreo, monitoramento ambiental e fotogrametria. Desenvolvido para operar em conjunto com plataformas de drones das maiores empresas da área, como os modelos da DJI, o Litchi permite a criação de rotas pré-definidas por meio de waypoints, ajustes de altitude, velocidade e ângulos de câmera, otimizando a coleta de dados geoespaciais. Sua integração com sistemas de coordenadas e a capacidade de exportar dados para softwares de SIG, como o QGIS, facilitam a geração de ortomosaicos, modelos digitais de elevação (MDE) e análises espaciais. Além disso, o suporte a waypoints dinâmicos e a compatibilidade com dispositivos móveis reforçam sua utilidade em trabalhos de campo, tornando-o uma ferramenta importantíssima para pesquisas acadêmicas, levantamentos topográficos e gestão ambiental e territorial (LITCHI, 2024).

Para a execução do mapeamento aéreo presente neste artigo, optou-se pela plataforma Litchi devido à sua comprovada compatibilidade com o modelo DJI Mini 2. Portanto, nesta configuração, estabeleceu-se uma altitude operacional de 75 metros acima do nível do solo, parâmetro que resultou em uma resolução espacial de 3,6 centímetros. O sistema foi programado com waypoints estratégicos, diminuindo a chance de se perder algum tipo de informação ou deformação do ortomosaico. Dessa forma, foram criadas cinco subdivisões da área de estudo, com base na análise do tempo de voo em que uma

bateria do drone utilizaria conseguiria voar, para assim uma cobertura sistemática do Lajedo Salambaia no menor tempo possível, mesmo assim foram necessárias duas idas ao campo por causa da extensão da área e da menor incidência direta da luz do sol, diminuindo a presença de sombras nas imagens.

Assim, no software Litchi, foram importadas as linhas de voo com os determinados Waypoints necessários para a criação das imagens no Lajedo Salambaia, e um exemplo de uma das cinco subdivisões criadas é:

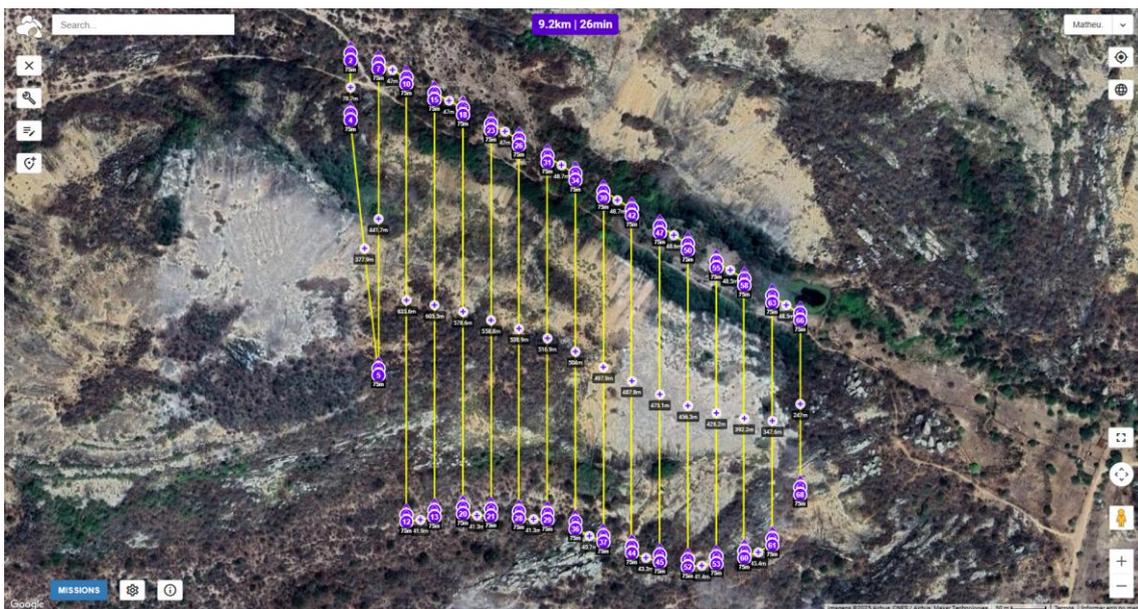


Figura 5: Linhas de Voo com os Waypoints da Subdivisão 1 - Fonte: Litchi.

Além disso, a instrumentação do voo incluiu a fixação do Gimbal em -90° associada a um intervalo temporal de captura automatizada de 3 segundos entre disparos consecutivos. Essa configuração meticulosa dos parâmetros de voo visou assegurar a qualidade geométrica e a sobreposição adequada das imagens, requisitos fundamentais para posterior processamento fotogramétrico e análise espacial da área em estudo.

4.4 Aquisição de Imagens

A fase de execução da missão inicia-se com a configuração inicial do plano de voo por meio do aparelho em que o software do drone está instalado, onde previamente é verificado se está dentro do planejamento do voo produzido no software, assim, aeronaves multirrotores (drones) realizam decolagem do tipo vertical de forma automatizada. Uma vez em voo, o sistema de navegação autônoma direciona a aeronave para o ponto inicial

da rota predefinida, dando início à captura sistemática de imagens conforme os parâmetros determinados no planejamento.

Paralelamente, enquanto o voo está acontecendo o operador de voo fica responsável pela estação de controle em solo, monitorando continuamente os parâmetros operacionais, incluindo estado da bateria, duração do voo, temperatura da bateria do drone e também a qualidade de sinal na comunicação entre o drone e o rádio comunicador. Portanto, nessa etapa foram seguidas as cinco linhas de voo em volta do Lajedo Salambaia de forma correta, como foram configuradas previamente. Dessa forma, esta etapa crítica assegura a obtenção de dados aerofotogramétricos com a qualidade e cobertura espacial necessárias para subsequentes processamentos.

Uma funcionalidade essencial dos sistemas de drones consiste no registro automatizado de metadados georreferenciados durante a aquisição de imagens. Cada fotograma capturado é associado a parâmetros de posicionamento (coordenadas geográficas) e orientação (atitude), obtidos através da integração de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) e unidades de medição inercial embarcadas na maioria dos aparelhos drone como os da marca chinesa DJI. Esses metadados são armazenados nos arquivos de imagem, e são fundamentais para o processamento aerofotogramétrico, permitindo a orientação externa aproximada das imagens. A precisão desses registros depende diretamente da qualidade dos sensores de navegação instalados na plataforma aérea.

A aquisição de imagens por meio de VANTs apresenta particularidades significativas quando comparado a plataformas aéreas tripuladas, conforme destacado por Turner, Lucieer e Watson (2012). Primeiramente, a baixa altitude de voo dos VANTs em relação à variação topográfica do terreno pode resultar em distorções durante o processamento da imagem final, comprometendo a qualidade dos dados adquiridos. Adicionalmente, a instabilidade inerente às plataformas não tripuladas manifesta-se em trajetórias de voo irregulares, gerando inconsistências na sobreposição entre imagens consecutivas e significativas variações angulares.

Outro desafio relevante está nas discrepâncias de condições de iluminação entre imagens adjacentes, principalmente quando a área de voo é muito ampla em contrapartida ao tempo de bateria dos drones atuais, sendo assim fatores preponderantes que prejudicam

a identificação de pontos iguais durante o processamento. Essas características intrínsecas aos sistemas VANTs demandam abordagens específicas no processamento de dados, visando compensar as limitações impostas pela plataforma enquanto se aproveitam as vantagens de sua operação em baixas altitudes.

Portanto, a diferença das imagens obtidas por VANTs demanda o desenvolvimento de abordagens computacionais diferentes do que a aerofotogrametria com veículos aéreos tripulados por pessoas. Por isso, foram criadas cinco subdivisões da área total para voo, mas durante o processamento foram adicionadas todas as imagens para a criação de um só ortomosaico. Onde o processo de aquisição de imagens seguiu o protocolo abaixo:

1. Configuração inicial: Antes do voo, realizou-se a configuração do plano de voo no dispositivo com o software instalado.
2. Monitoramento: Durante o voo, o operador monitorou continuamente os parâmetros de telemetria e o progresso da missão através da estação de controle em solo.
3. Registro de metadados: O sistema registrou automaticamente os metadados georreferenciados durante a aquisição das imagens, incluindo coordenadas GPS, altitude, orientação da câmera e timestamp.

4.5 Processamento das Imagens e Criação dos Índices de Vegetação

- Agisoft Metashape

O Agisoft Metashape é um software especializado de fotogrametria, amplamente utilizado para processar imagens capturadas por drones e criar mapas através dos ortomosaicos e modelos 3D de alta qualidade. A lista de funcionalidades inclui fototriangulação aérea e terrestre com exportação dos dados para outros softwares fotogramétricos, geração de nuvens de pontos e modelos poligonais triangulares 3D, MDT e MDS, ortofoto verdadeira, processamento de imagens multiespectral, as sobreposições devem ser de 80 e 60% para longitudinal e lateral, respectivamente (PHOTOSCAN, 2014).

O software permite a análise e medição detalhadas de terrenos, estruturas e outros recursos fazendo do mesmo uma ferramenta importante para aplicações como o mapeamento e o monitoramento ambiental. Por isso, os dados (imagens) deste artigo

foram processados no software Agisoft Metashape, já que o software foi desenvolvido especificamente para criação de conjuntos de imagens e dados de levantamentos aéreos de veículos não tripulados. Assim, o processamento incluiu os seguintes passos:

1. Alinhamento das fotografias;
2. Geração de nuvem densa de pontos;
3. Construção de modelo digital de elevação;
4. Produção de ortomosaico georreferenciado.

- QGIS

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, importante e globalmente difundido e usado mundialmente, que se destaca como uma ferramenta fundamental para o geoprocessamento de ortomosaicos gerados por drones. Sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados geográficos, juntamente com uma interface de fácil entendimento e uma grande quantidade de diferentes tipos de plugins, o torna uma solução de grande importância para diversas aplicações, desde trabalhos acadêmicos, perícias e licenciamentos ambientais (QGIS, 2024).

Em resumo, o QGIS é uma ferramenta poderosa e versátil para o processamento de ortomosaicos gerados por drones. Sua flexibilidade, facilidade de uso e capacidade de realizar análises complexas o tornam uma escolha ideal para profissionais de diversas áreas que trabalham com dados geográficos, por esse motivo, foi o software escolhido para a criação dos índices RGBs utilizados nesse artigo.

1. Processamento do ortomosaico gerado pelo software anterior;
2. Cálculo dos índices de vegetação;
3. Análise espacial dos dados;
4. Produção dos mapas temáticos finais.

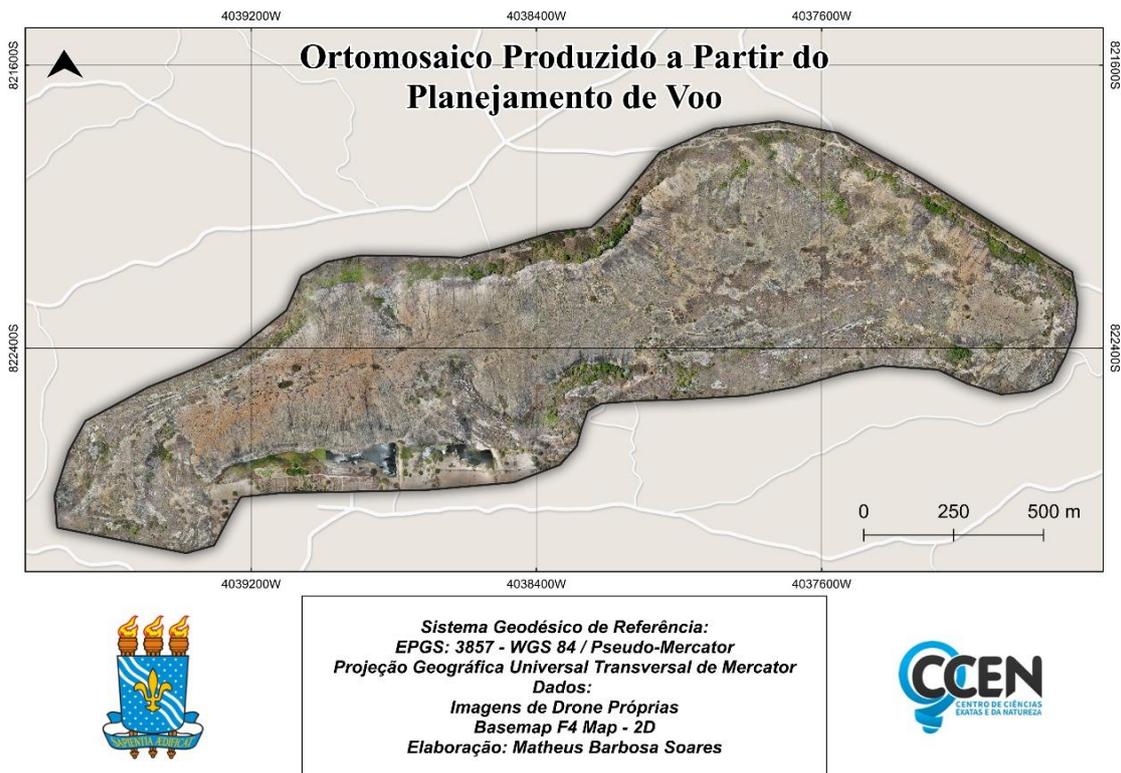
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Ortomosaíco

O ortomosaico apresentado constitui um produto cartográfico de alta resolução espacial (3,6 cm), elaborado a partir da fusão de múltiplas imagens aéreas obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Este produto representa um avanço significativo na representação fidedigna da aquisição de imagens da superfície terrestre sem a necessidade de satélites, uma vez que as distorções geométricas pertencentes ao processo de aquisição foram corrigidas através de técnicas de sobreposição de algumas imagens da mesma área. A ortorretificação possibilitou a criação de uma imagem georreferenciada, permitindo uma medição precisa e análises espaciais confiáveis.

A área de estudo representada revela características heterogêneas da cobertura do solo. É possível observar variações tonais que indicam diferentes tipos de uso e ocupação da terra, com destaque para áreas com vegetação esparsa, solo exposto, diferentes tipos de feições geomorfológicas e pequenos e grandes corpos d'água. A resolução espacial obtida permite a identificação de feições detalhadas do terreno, fundamentais para o planejamento territorial e monitoramento ambiental.

Esse ortomosaico serviu como base para a obtenção dos índices de vegetação subsequentes, garantindo consistência espacial nas análises multitemporais e temáticas. A qualidade radiométrica e geométrica do produto final demonstra a eficácia do planejamento de voo executado, com sobreposição adequada entre as imagens e condições atmosféricas favoráveis durante a aquisição dos dados.



Mapa 2 – Ortomosaico. - Fonte: Imagens Autorais, Basemap F4 Map – 2D (2024).

5.2 Índices de Vegetação

Todo elemento natural apresenta uma resposta espectral distintiva, manifestada através de um perfil contínuo de reflectância em diferentes comprimentos de onda. Essa impressão digital eletromagnética, determinada pela morfologia da curva, magnitude reflectiva e posicionamento das feições de absorção, permite a caracterização dos alvos. O domínio desses padrões espectrais é fundamental para seleção ótima de bandas em aplicações de sensoriamento remoto (Agência Espacial Brasileira, 2008).

Estudos espectrais demonstram que a vegetação considerada sadia irá apresentar padrões característicos de interação com a radiação eletromagnética. Na região do visível (400-700 nm), observa-se elevada absorção nas faixas azul e vermelho, decorrente da atividade dos pigmentos fotossintéticos, enquanto a banda verde apresenta reflectância mais acentuada, responsável pela coloração foliar característica. No infravermelho próximo (700-1300 nm), a estrutura celular do microrganismo promove alta reflectância devido ao espalhamento da radiação. Essa assinatura espectral única, marcada por transições bruscas entre absorção e reflectância em comprimentos de onda específicos,

constitui a base física para a detecção remota de vegetação saudável e o desenvolvimento de índices de vegetação.

Os índices de vegetação consistem em algoritmos matemáticos especialmente criados para avaliar a cobertura vegetal de uma determinada área, estabelecendo relações entre parâmetros biofísicos e dados espectrais obtidos remotamente, permitindo análises tanto quantitativas quanto qualitativas. Complementando essa perspectiva, Marcussi et al. (2010) evidenciam que o emprego desses índices no sensoriamento remoto possibilita não apenas o monitoramento temporal da cobertura vegetal, mas também a avaliação sistemática dos recursos naturais, constituindo-se como uma importante ferramenta para o gerenciamento ambiental. Nesse contexto, a detecção e caracterização qualitativa da vegetação por meio de índices espectrais tem se revelado uma das aplicações mais relevantes do sensoriamento remoto em estudos ambientais, fornecendo contribuições técnicas para a tomada de decisões e a implementação de políticas de conservação.

5.3 Green Leaf Index (GLI)

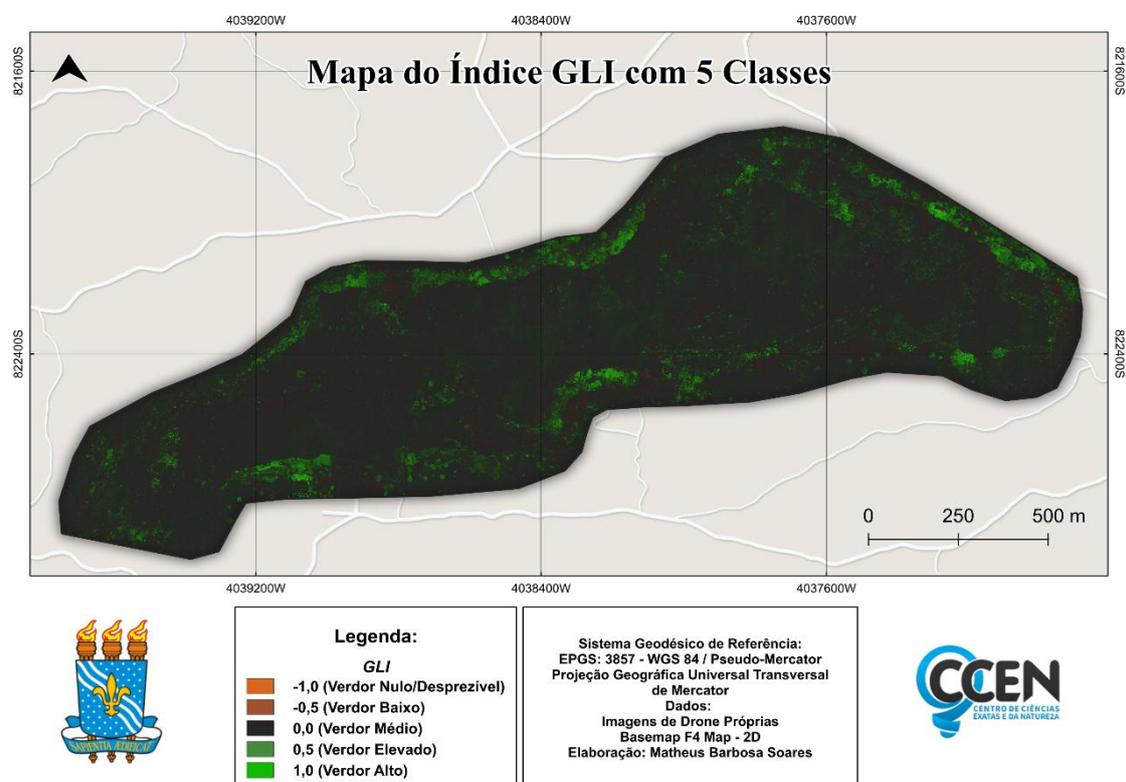
O Índice de Folha Verde, ou Green Leaf Index (GLI) criado por Louhaichi et al. (2001), constitui uma importante ferramenta para a análise quantitativa da biomassa fotossinteticamente ativa na área de estudo. Esse índice, desenvolvido para maximizar a sensibilidade à clorofila foliar é um indicador quantitativo derivado da diferença normalizada, utilizando as bandas espectrais do visível (vermelho, verde e azul) para discriminar diferentes níveis de vigor vegetativo. É possível descrever a equação do GLI quando calculado pela fórmula seguinte:

$$(2G - R - B) / (2G + R + B) \text{ de Louhaichi et.al (2001).}$$

(Equação 1)

A representação cartográfica do GLI foi estruturada em cinco classes distintas, variando de -1,0 (verdor nulo/desprezível) a 1,0 (verdor alto), permitindo uma interpretação gradual da densidade e saúde da cobertura vegetal. Observa-se uma predominância de valores intermediários e negativos na maior parte da área mapeada, com manchas significativas de vegetação mais vigorosa (0,5 a 1,0 - verdor elevado a alto) distribuídas principalmente nas bordas do lajedo e em alguns pequenos núcleos internos do polígono analisado. A análise espacial do GLI revela padrões de distribuição da

vegetação que podem estar associados a fatores edáficos e topográficos. As áreas classificadas com verdor alto (representadas em verde intenso) indicam vegetação com elevada atividade fotossintética, possivelmente relacionada a espécies arbustivas ou arbóreas em bom estado fitossanitário. Em contrapartida, as regiões com valores próximos a zero ou negativos sugerem solo exposto, vegetação senescente ou superfícies não fotossinteticamente ativas. Esse índice demonstra particular eficácia na discriminação de nuances da vegetação em ambientes heterogêneos, fornecendo subsídios para o monitoramento da dinâmica vegetal e para a identificação de áreas prioritárias para conservação ou intervenção ambiental.



Mapa 3 – Mapa com Índice GLI. - Fonte: Imagens Autorais, Basemap F4 Map – 2D (2024).

5.4 Modified Green Red Vegetation Index (MGVRI)

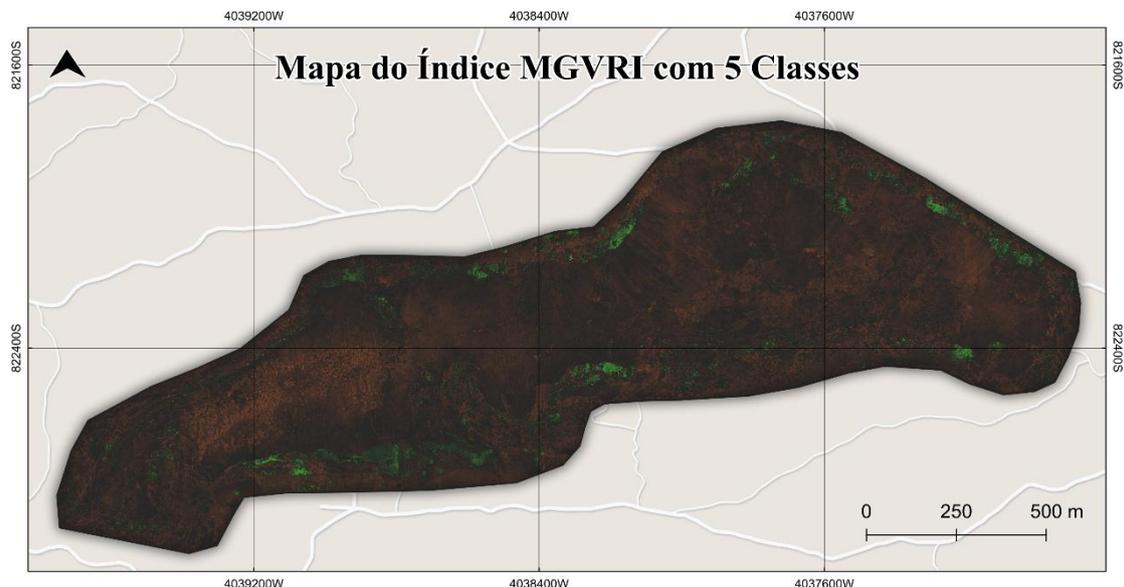
O Índice de Vegetação Modified Green Red Vegetation Index (MGVRI) representa uma evolução metodológica significativa para a análise da cobertura vegetal em ambientes complexos, sendo assim uma evolução metodológica do Green Red Vegetation Index (GVRI) de Tucker (1979), por isso se constitui como um indicador biofísico robusto para a diferenciação espectral entre fitomassa e solo exposto (Bendig et al., 2015). A formulação matemática do MGVRI estabelece uma relação normalizada

entre as bandas do verde e do vermelho em imagens digitais, com ajustes que minimizam interferências atmosféricas e de iluminação, conforme expresso pela seguinte equação:

$$\frac{(G)^2 - (R)^2}{(G)^2 + (R)^2} \text{ de Bendig et.al (2015).}$$

(Equação 2)

Dessa forma, a representação cartográfica do MGVRÍ na área de estudo foi estruturada novamente em cinco classes de valores, variando de -1,0 (verdor nulo/desprezível) a 1,0 (verdor alto). A distribuição espacial desses valores revela um padrão predominantemente homogêneo, com valores intermediários e negativos ocupando a maior parte do território analisado. Observa-se, contudo, a presença de manchas isoladas com valores elevados (0,5 a 1,0), indicando núcleos de vegetação mais densa e fotossinteticamente ativa. Além disso, as regiões classificadas com verdor baixo (-0,5) apresentam tonalidade marrom-avermelhada, possivelmente associadas a solos expostos ou vegetação senescente, enquanto as áreas com verdor elevado (0,5) e alto (1,0), representadas em tons de verde, correspondem a formações vegetais mais vigorosas e estruturalmente complexas. Esse índice constitui uma ferramenta importante para o monitoramento da dinâmica vegetal em escala detalhada, permitindo a identificação de áreas de maior vigor vegetativo.



Legenda:	
MGVRÍ	
	-1,0 (Verdor Nulo/Desprezível)
	-0,5 (Verdor Baixo)
	0,0 (Verdor Médio)
	0,5 (Verdor Elevado)
	1,0 (Verdor Alto)

Sistema Geodésico de Referência:
EPSG: 3857 - WGS 84 / Pseudo-Mercator
Projeção Geográfica Universal Transversal
de Mercator
Dados:
Imagens de Drone Próprias
Basemap F4 Map - 2D
Elaboração: Matheus Barbosa Soares



5.5 Triangular Greenness Index (TGI)

O Triangular Greenness Index (TGI), ou Índice de Verde Triangular caracteriza-se como um indicador espectral baseado na geometria de reflectância na faixa espectral do visível, e se constitui como mais um parâmetro biofísico que possui uma elevada relevância para a análise da concentração de vigor vegetativo. Esse índice, fundamentado em princípios de geometria espectral, calcula a área do triângulo formado pelos valores de reflectância nas bandas do vermelho, verde e azul no espaço espectral, sendo particularmente sensível ao conteúdo de clorofila-a nas estruturas foliares, caracterizando-se como condição típica de cobertura vegetal verde. A equação para a sua criação é:

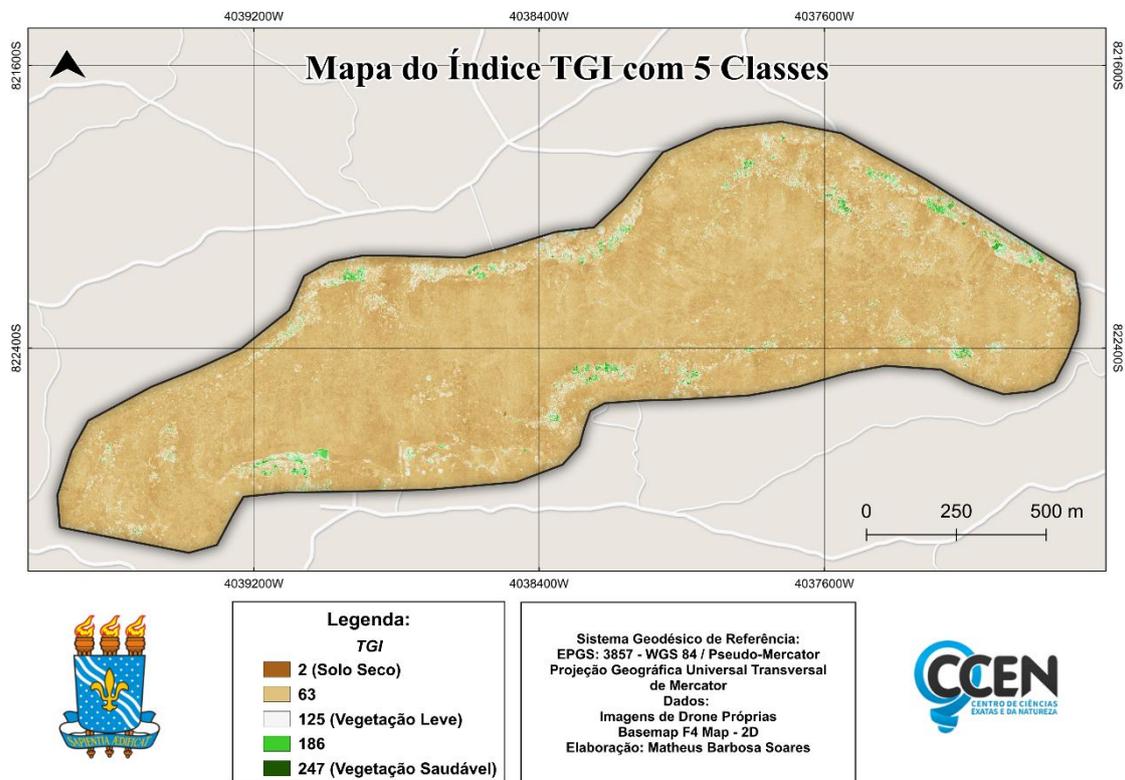
$-0.5 \cdot [190 \cdot (R-G) - 120 \cdot (R-B)]$ de Hunt Jr. et al. (2011), mas adaptado por McKinnon e Hoff (2017).

(Equação 3)

Como nos índices anteriores, a representação cartográfica do TGI foi estruturada em cinco classes distintas, porém com valores variando de 2 (solo seco) a 247 (vegetação saudável). A distribuição espacial desses valores revela um padrão predominantemente homogêneo na área de estudo, com a classe intermediária e relativamente negativa (63) ocupando a maior parte do território analisado. Essa classe, representada em tom bege, sugere áreas com vegetação esparsa ou em estágio inicial de desenvolvimento. As manchas verdes, correspondentes às classes 186 e 247, indicam núcleos de vegetação mais densa e fotossinteticamente ativa, possivelmente associados a formações arbustivas ou arbóreas em bom estado fitossanitário.

Esse índice demonstra particular eficácia na discriminação de estresses fisiológicos na vegetação, mesmo em estágios iniciais, proporcionando assim um índice sensível a vegetações fotossinteticamente ativas e assim constituindo uma ferramenta importante para o monitoramento da qualidade ambiental e para a detecção precoce de processos de degradação. A interpretação integrada do TGI com outros parâmetros

biofísicos e dados de campo pode fornecer subsídios robustos para a gestão sustentável dos recursos naturais na área do Lajedo Salambaia.



Mapa 5 – Mapa com Índice TGI. - Fonte: Imagens Autorais, Basemap F4 Map – 2D (2024).

5.6 Excess of Green (ExG)

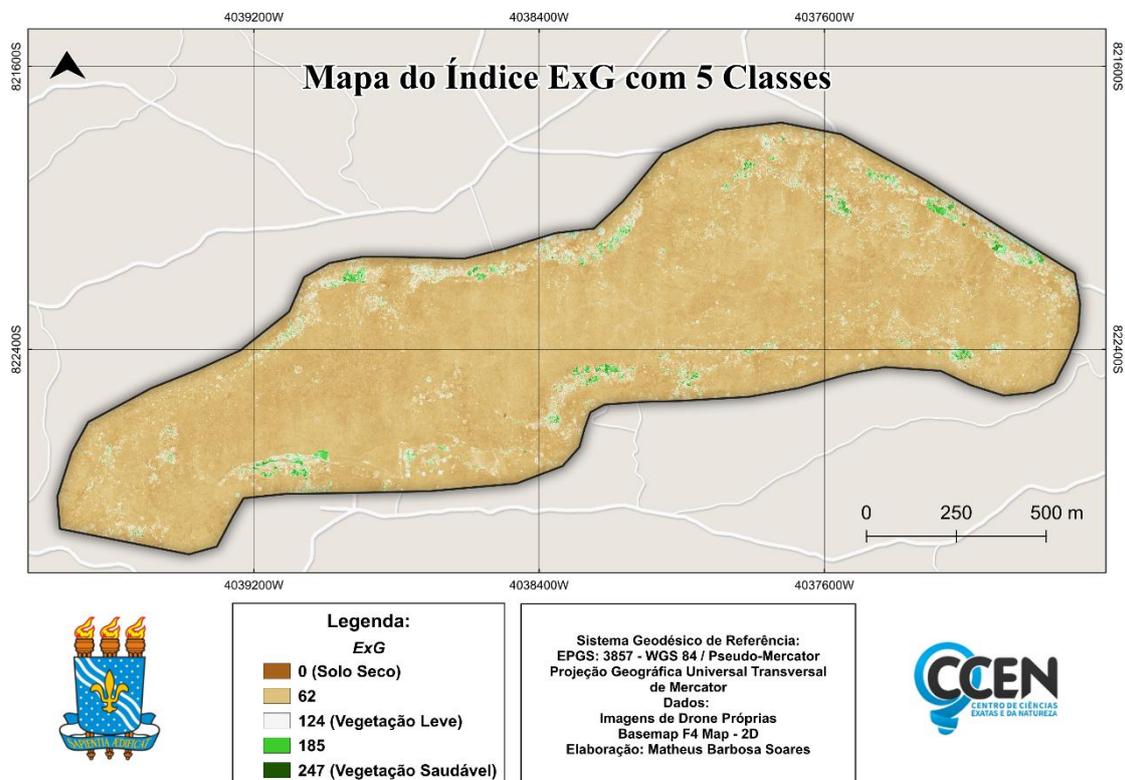
O índice Excess of Green (ExG) desenvolvido por Woebbecke et al. (1995), representa uma abordagem metodológica aprimorada para a quantificação da biomassa verde em índices de vegetação no sensoriamento remoto. Esse índice, desenvolvido especificamente para maximizar o contraste entre cobertura vegetal e solo exposto, baseia-se na premissa de que a reflectância na banda do verde é significativamente maior em tecidos vegetais fotossinteticamente ativos, quando comparada às bandas do vermelho e azul. Sua formulação matemática, potencializa a detecção de vegetação mesmo em condições de iluminação variável ou em ambientes com fundo complexo, como na área de trabalho feito nesse estudo. A formulação matemática que opera este índice é expressa da seguinte maneira:

$$2G - R - B \text{ de Woebbecke et.al (1995).}$$

(Equação 4)

A representação cartográfica do ExG na área de estudo foi estruturada novamente em cinco classes distintas, variando de 0 (solo seco) a 247 (vegetação saudável). A distribuição espacial destes valores revela um padrão predominantemente homogêneo, com a classe 62 semi intermediária ocupando a maior parte do território analisado. Essa classe, representada em um tom bege, sugere áreas com vegetação baixa, esparsa ou solo exposto. As manchas verdes, correspondentes às classes 185 e 247, indicam núcleos de verdor vegetativo com maior valor, caracterizando vegetação mais densa e fotossinteticamente ativa.

Assim, as áreas classificadas como vegetação leve (124) apresentam valores intermediários de ExG, sugerindo formações herbáceas ou arbustivas com moderada densidade foliar. Em contrapartida, as regiões com vegetação saudável (247) exibem os valores mais elevados do índice, indicando máxima concentração de biomassa verde. Portanto, este índice constitui uma importante ferramenta para o monitoramento da dinâmica vegetal em escala detalhada sem a necessidade de outros tipos de sensores, permitindo a identificação de áreas de sucessão ecológica e alterações na estrutura da vegetação.



Mapa 5 – Mapa com Índice ExG. - Fonte: Imagens Autorais, Basemap F4 Map – 2D (2024).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para a geração de ortomosaicos configura-se como uma ferramenta tecnologicamente avançada, caracterizada por sua precisão, eficiência e versatilidade. Sua relevância reside na capacidade de fornecer dados georreferenciados detalhados e atualizados, os quais são fundamentais para processos de gestão e planejamento em múltiplos setores. Com o contínuo avanço tecnológico, os ortomosaicos tendem a se tornar cada vez mais acessíveis e indispensáveis para aplicações profissionais e científicas, consolidando-se como um recurso estratégico.

Atualmente, os sistemas VANTs desempenham um papel significativo no âmbito da pesquisa e aplicação em fotogrametria aérea e sensoriamento remoto. Esses sistemas são reconhecidos como uma alternativa eficiente para a aquisição de imagens com alta resolução espacial e temporal, além de apresentarem um potencial notável para respostas rápidas em diversos cenários. As principais vantagens associadas a esses sistemas são impulsionadas pelos avanços tecnológicos nos sensores de captura, sistemas de navegação e posicionamento, os quais permitiram a simplificação e integração desses componentes em plataformas aéreas compactas, confiáveis e de relativa acessibilidade financeira.

Paralelamente, os progressos nas estratégias de processamento de imagens, aliados aos avanços na área de visão computacional e à integração com técnicas fotogramétricas, têm viabilizado o manejo eficiente dos grandes volumes de dados gerados por sistemas VANTs. Adicionalmente, os altos níveis de automação nas etapas de processamento têm sido alcançados, otimizando a produção de resultados precisos e confiáveis. Esses avanços têm estimulado pesquisas voltadas ao desenvolvimento de pesquisas acadêmicas para a extração e correlação de características, contribuindo para a melhoria da pesquisa com base em produtos cartográficos gerados como no presente estudo.

Assim, a análise dos diferentes índices de vegetação aplicados à área de estudo presentes nesse artigo permitiu uma caracterização multidimensional da cobertura vegetal, revelando padrões espaciais e gradientes de vigor vegetativo que não seriam perceptíveis por meio de abordagens convencionais. O ortomosaico produzido a partir do planejamento de voo com VANT constituiu uma base cartográfica de alta resolução

espacial, fundamental para a derivação precisa dos índices espectrais e para a contextualização geográfica dos fenômenos observados.

Os índices GLI, MGVRI, TGI e ExG, embora fundamentados em princípios espectrais distintos, apresentaram convergência na identificação das áreas com maior atividade fotossintética, corroborando a robustez metodológica empregada. Cada índice, contudo, demonstrou sensibilidades particulares a diferentes aspectos da vegetação: o GLI destacou-se na discriminação geral da biomassa verde; o MGVRI evidenciou nuances na relação entre as bandas do verde e do vermelho; o TGI mostrou-se especialmente eficaz na estimativa do conteúdo de clorofila; e o ExG apresentou maior robustez na separação entre vegetação e não-vegetação em ambientes heterogêneos.

A abordagem metodológica adotada, baseada na segmentação dos valores dos índices em cinco classes, possibilitou uma interpretação gradual e comparativa dos resultados, facilitando a identificação de áreas prioritárias para conservação e as áreas mais desertificadas ou de menor porte vegetativo. A predominância de valores intermediários em todos os índices sugere um mosaico vegetacional em diferentes estágios de desenvolvimento ou sob influência de fatores limitantes, aspectos que merecem investigação complementar em estudos futuros. Assim, a análise comparativa entre o MGVRI e outros índices de vegetação evidencia sua particular eficácia e robustez na discriminação da cobertura vegetal em ambientes heterogêneos.

Os resultados obtidos evidenciam o potencial do sensoriamento remoto com VANTs e da análise de índices espectrais para o monitoramento ambiental em escala detalhada, oferecendo subsídios técnicos para a gestão territorial e para a implementação de estratégias de conservação fundamentadas em dados quantitativos e espacialmente explícitos.

7. REFERÊNCIAS:

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). Barreiras e facilitadores na transferência de tecnologia para o setor espacial: estudo de caso de programas de parceria das Agências Espaciais do Brasil (AEB) e dos EUA (NASA). Brasília, DF: AEB, 2008.

BENDIG, J.; YU, K.; AASEN, H.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; GNYP, M. L.; BARETH, G. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 39, p. 79-87, 2015. DOI: 10.1016/j.jag.2015.02.012.

BERETTA, F. et al. Uso de VANT para automatização de classificação litológica em frente de lavra a céu aberto. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE MINAS A CÉU ABERTO E MINAS SUBTERRÂNEAS*, 9., Belo Horizonte, 2018.

COELHO, F. L. C. T.; BRITO, J. L. N. e S. Fotogrametria Digital. Rio de Janeiro: *EdUERJ*. 196 p. 2007.

CORDEIRO, J. M. P.; SOUZA, B. I.; SOUZA, A. F.; COSTA, A. I. S.; XAVIER, R. A.; RAMOS, U. S.; SOUZA, J. J. L. L. Are these islands isolated? Floristic diversity in inselberg habitats of the Caatinga, Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-025-03065-2>.

CARMO FF. Padrões de diversidade, composição florística e estrutura de comunidade de plantas em afloramentos rochosos, quadrilátero ferrífero, Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, P.106, 2014.

DJI. DJI Mini 2 [Drone]. Shenzhen, China: SZ DJI Technology Co., Ltd., 2020. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mini-2>.

FABRICANTE JR, ANDRADE LA & MARQUES JM. Caracterização populacional de *Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelburg (Cactaceae) ocorrente em um Inselbergue da Caatinga paraibana. *Biotemas*, 23: 61-67, 2010.

GOOGLE. Google Earth Pro (Versão 7.3.6) [Software]. Mountain View, CA: Google LLC, 2023. Disponível em: <https://www.google.com/earth/versions/>.

HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture?. *International Journal of Remote Sensing*, v. 39, n. 15–16, p. 5345–5376, 2018. DOI: 10.1080/01431161.2017.1410300.

JANNOURA, R. et al. Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystems Engineering*, v. 129, p. 341–351, 2015. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.11.007.

LAGES, G. A. et al. **SGB: Cadastro de Sítios Geológicos. Lajedo Salambaia.** Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/geossit/geossitios/ver/1332>.

LAGES, G. de A; FERREIRA, R. V; MENESES, L. F; NASCIMENTO, M. A. L; FIALHO, D. Projeto Geoparques do Brasil: Geoparque Cariri Paraibano - Proposta. Recife: CPRM, 2018. 57 p. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20244>.

LIMA, P. D. R; GOMES, W. V. Aerofotogrametria por Meio de Vants: Análise da Viabilidade no Levantamento Planialtimétrico. Pau dos Ferros – RN: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

Litchi, Versão 4.30.0, VC Technology Ltd., 2024. [Mobile application]. Disponível em: <https://flylitchi.com/>.

LOPES-SILVA, R. F.; RODRIGUES, J. S.; GOMES-SILVA, F.; LUCENA, D. S.; LUCENA, M. F. A. Composição florística de um inselberg no semiárido paraibano, nordeste brasileiro. *Rodriguésia*, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201970079>.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto International*, v. 16, n. 1, p. 65–70, 2001. DOI: 10.1080/10106040108542184.

MARCUSSI, A. B. Caracterização do uso do solo e das áreas de preservação permanente, visando a adequação ambiental. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010.

McKINNON, T.; HOFF, P. Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for drone based agricultural sensing. 2017.

PHOTOSCAN. Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.0. Agisoft, 2014.

POREMBSKI S.; BARTHLOTT W. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. *Plant Ecology*, 151: 19 -28, 2000.

POREMBSKI S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 579-586, 2007.

PORTO P. A. F.; ALMEIDA A.; PESSOA W. J.; TROVÃO D.; FELIX L. P. Composição florística de um inselbergue no agreste paraibano, município de Esperança, nordeste do Brasil. *Revista Caatinga*, 21: 214-223, 2008.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS (Versão 3.30.3) [Software]. Open Source Geospatial Foundation, 2024. Disponível em: <https://qgis.org/>.

QGroundControl, Versão 4.2.8, Open Source Community, 2024. [Software]. Disponível em: <http://qgroundcontrol.com/>.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127-150, maio de 1979. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

WOEBBECKE, D. M. et al. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, v. 38, n. 1, p. 259-269, 1995.

ZHANG, C.; WALTERS, D.; KOVACS, J. M. Applications of low altitude remote sensing in agriculture upon farmers' requests — A case study in northeastern Ontario, Canada. *PLoS ONE*, v. 9, n. 11, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0112894.